

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-156391

(43)Date of publication of application : 08.06.2001

(51)Int.Cl.

H01S 5/12

H01S 5/40

(21)Application number : 11-335951

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 26.11.1999

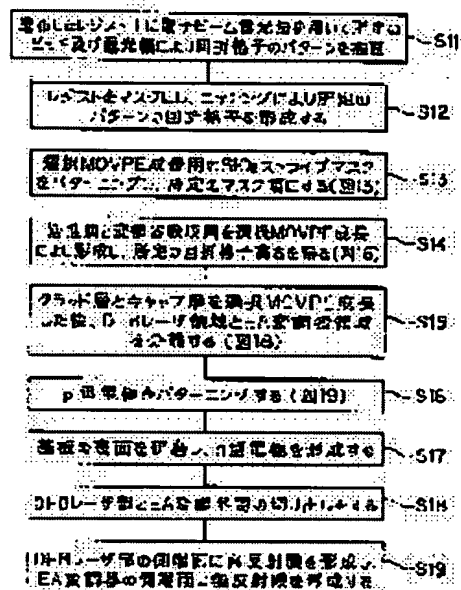
(72)Inventor : SAKATA YASUTAKA

(54) OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD OF FABRICATION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical semiconductor device and a method of fabrication in which variation in the coupling coefficient can be suppressed when a plurality of semiconductor lasers are formed collectively on one semiconductor substrate.

SOLUTION: Resist is applied onto a substrate and a plurality of diffraction grating patterns are exposed while setting the height such that the coupling coefficient is constant regardless of the pitch corresponding to the oscillation wavelength each of a plurality of semiconductor lasers and the oscillation wavelength (S11), etching is performed such that the quantity of etching per unit time is constant (S12), a stripe mask is patterned according to the arrangement of the diffraction grating (S13), a laser active layer is formed on the diffraction grating by selective MOVPE growth (S14), electrodes are formed on the surface of the laser active layer and the rear surface of the substrate (S16, 17), and a high reflection film is formed on one edge of the laser active layer (S19).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.10.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 18.11.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2003-24601

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 18.12.2003

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-156391

(P2001-156391A)

(43) 公開日 平成13年6月8日 (2001.6.8)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 S 5/12

5/40

識別記号

F I

H 0 1 S 5/12

5/40

テーマコード(参考)

5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願平11-335951

(22) 出願日

平成11年11月26日 (1999. 11. 26)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 阪田 康隆

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100071526

弁理士 平田 忠雄

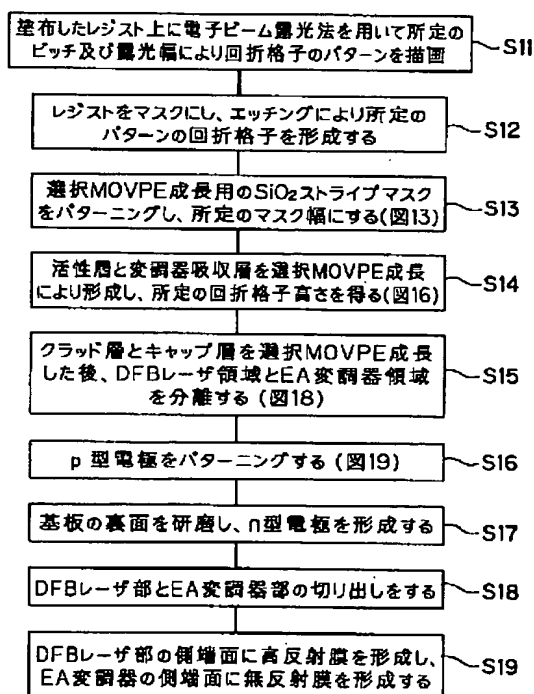
Fターム(参考) 5F073 AA22 AA64 AA74 AB21 BA02
CA12

(54) 【発明の名称】 光半導体装置およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 複数の半導体レーザを1枚の半導体基板上に一括形成したときの結合係数のばらつきを抑えることが可能な光半導体装置およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 基板上にレジストを塗布し、前記複数の半導体レーザのそれぞれの発振波長に対応したピッチおよび前記それぞれの発振波長によらず結合係数が一定になるように高さを設定した複数の回折格子のパターンを露光し (S11)、単位時間当たりのエッチング量が一定となるようにエッチングし (S12)、前記回折格子の配置に合わせてストライプマスクをパターニングし (S13)、選択MOVPE成長により前記回折格子上にレーザ活性層を形成し (S14)、前記レーザ活性層の表面と前記基板の裏面に電極を形成し (S16, 17)、前記レーザ活性層の一方の端面に高反射膜を形成する (S19)。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 周期的な屈折率変化又は利得変化に基づいて縦単一モードのレーザ光を発振する複数の半導体レーザが、相互に異なる発振波長によって1枚の基板上に一括形成された光半導体装置において、前記複数の半導体レーザのそれぞれの結合係数が、その発振波長によらず同一であることを特徴とする光半導体装置。

【請求項2】 周期的な屈折率変化又は利得変化に基づいて縦単一モードのレーザ光を発振する複数の半導体レーザが、相互に異なる発振波長によって1枚の基板上に一括形成された光半導体装置において、前記複数の半導体レーザは、その発振波長に応じた高さを有した回折格子を備えたことを特徴とする光半導体装置。

【請求項3】 前記複数の半導体レーザ素子は、分布帰還型(DFB)半導体レーザまたは分布反射型(DBR)半導体レーザであることを特徴とする請求項2記載の光半導体装置。

【請求項4】 前記複数の半導体レーザ素子は、そのレーザ活性層に、ガイド層、MQW層を含むことを特徴とする請求項2記載の光半導体装置。

【請求項5】 異なる波長の縦単一モードのレーザ光を発振する複数の半導体レーザを1枚の基板上に一括形成する光半導体装置の製造方法において、前記基板上にレジストを塗布し、前記複数の半導体レーザのそれぞれの発振波長に対応したピッチ、および前記それぞれの発振波長によらず結合係数が一定になるように高さを設定する複数の回折格子のパターンを前記レジスト上に露光し、単位時間当たりのエッチング量が一定となるようにエッチングし、前記回折格子の配置に合わせて所定形状のマスクをパターンニングし、前記所定形状のマスクを用いて選択MOVPE成長(有機金属気相成長)により前記回折格子上にレーザ活性層を形成し、前記レーザ活性層の表面および前記基板の裏面に電極を形成することを特徴とする光半導体装置の製造方法。

【請求項6】 前記回折格子の高さは、前記結合係数が小さくなる素子ほど大きくし、前記結合係数が大きくなる素子ほど小さくすることを特徴とする請求項5記載の光半導体装置の製造方法。

【請求項7】 前記回折格子の高さは、そのレジスト開口幅によって設定することを特徴とする請求項5記載の光半導体装置の製造方法。

【請求項8】 前記レジスト開口幅は、前記結合係数が小さくなるほど狭くし、前記結合係数が大きくなるほど広くすることを特徴とする請求項5記載の光半導体装置の製造方法。

【請求項9】 前記所定形状のパターンニングは、前記半導体レーザのそれぞれに結合される電界吸収型光変調器のパターンニングを含み、前記選択MOVPE成長は、前記電界吸収型光変調器の吸収層を形成するための選択MOVPE成長を含むことを特徴とする請求項5記載の光

半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光半導体装置およびその製造方法に関し、特に、波長分割多重(WDM: wavelength division multiplexing)伝送に用いられ、異なる発振波長の複数の半導体レーザが1枚の基板上に一括して形成される光半導体装置およびその製造方法に関する。

10 【0002】

【従来の技術】近年、急激に伸びている通信需要を賄う手段として、光通信が注目されている。そして、1本の光ファイバで大容量の通信が行えるように、1本の光ファイバに異なる波長の光信号を伝送させるWDM光通信システムが注目されている。WDMは、送信側で複数の異なる n 個の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ を光合波器で合波して1本の光ファイバに波長多重して伝送し、受信側では光ファイバからの情報を光分波器で波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ のそれぞれに分波するシステムであるが、その実現には、レーザ波長の安定化、光回路素子の開発、光回路の集積化等の技術が要求される。また、WDM光通信システムには、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ のそれぞれに対応した複数の光源が必要であり、異なる波長光源をいかに効率的に実現できるかが大きな課題となっている。そこで異なる波長の複数のDFB

(distributed feedback: 分布帰還型)レーザやEA(electro-absorption: 電界吸収型)変調器を集積化したDFBレーザを1枚の半導体基板面内に一括して作製する製造方法が、特開平10-117040号公報において開示されている。特開平10-117040号公報においては、1枚の半導体基板上で複数の異なる発振波長を得るため、異なる周期(ピッチ $\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_n$)を持つ回折格子を電子ビーム露光およびエッチング技術を用いて形成した後、発振波長に応じたバンドギャップ波長を有する活性層(光吸収層)を含む多層構造を、選択MOVPE法(metal-organic vapor phase epitaxy: 有機金属気相成長)により作製している。

【0003】図33は、特開平10-117040号公報に示された光半導体装置を示す。図33の(a)に示すように、まず、 n 型InP基板301の上に、電子ビーム(EB)露光およびエッチング技術を用いて、周期の異なる16種類の位相シフト型の回折格子302をストライプ領域に順次形成する。回折格子302のピッチは、短い方から長い方へ $W_{m1} \sim W_{m3}$ を変えている。次に、絶縁膜であるストライプ状の選択成長用 SiO_2 マスク303を[011]方向に形成する。この SiO_2 マスク303は、回折格子302の上に所定幅のストライプ状の窓領域を有するように形成され、かつ、マスク幅は、回折格子302のピッチに応じて変えられている。その後、選択MOVPE成長によって、 SiO_2 マスク303で挟まれた領域には、 n 型InGaAsPガ

イド層304、InGaAsP/InGaAsP-MQW (multiple quantum well: 多重量子井戸) 活性層305、p型InPクラッド層306が、図33の(b)の様に、順次形成される。SiO₂マスク303に挟まれた領域に形成された多層半導体層の部分が光導波路になる。なお、図33の(b)においては、構造を簡単化するために、異なる幅のマスク間に形成された半導体層は図示していない。

【0004】次に、ストライプ状の光導波路の周辺のSiO₂マスク303の開口幅を広げ、その後、再び選択MOVPE成長により、p型InP埋め込み層307を図33の(c)のように形成する。ここで、図33の(b)と同様に、幅の異なるSiO₂マスク303の間に形成された半導体層の図示を省略している。

【0005】次に、MQW活性層305を含むリッジ構造多層半導体のトップを除いてSiO₂膜308を形成し、図33の(d)のように、InP基板301の表面に金属電極309を、裏面に金属電極310をそれぞれ形成する。なお、InP基板301の表面に形成された金属電極309は、素子間で絶縁分離されている。その後、ウエハを半導体レーザの素子長の間隔でへき開し、そのへき開端面に無反射(AR)コーティングを施せば半導体レーザが完成する。

【0006】図33の方法によれば、発振波長とレーザ活性層のバンドギャップ波長を一定の範囲内で一致させること(デチューニング)が可能のため、レーザ発振しきい値や発振効率の均一性を比較的良好に保つことができるという特徴がある。しかし、活性層を選択MOVPEで作製すると、回折格子の上に形成される光ガイド層のバンドギャップ波長も変化し、さらに活性層の膜厚も変化してしまう。ガイド層のバンドギャップ波長の変化により回折格子上の屈折率の絶対値が変化するため、回折格子による周期的な屈折率変化の変化量も変わる。また、活性層の膜厚の変化によって活性層への光閉じ込め係数が変化し、結果として、回折格子領域の光強度が変わる。この回折格子による周期的な屈折率変化の変化量と回折格子領域の光強度は、結合係数 κ (回折格子で反射が生じて進行波と後退波とが結合するときの結合関係を表し、共振特性の指標となるパラメータ)に直接かわるパラメータであるため、屈折率変化の変化量と回折格子領域の光強度が変化する異波長レーザの一括形成では、発振波長によって結合係数 κ が変わることになる。そこで、特開平10-117040号公報では、発振波長を長波化させるために選択成長マスクのマスク幅($W_{mm1} \sim W_{mm3}$)を大きくしている。

【0007】ここで、図33の製造方法で得られた光半導体装置について考察する。(1)発振波長を長波化させるために選択成長マスクのマスク幅($W_{mm1} \sim W_{mm3}$)を大きくしているが、これによって回折格子上の光ガイド層のバンドギャップ波長も長波化するため、光ガイド

層の屈折率の絶対値が大きくなり、この結果、結合係数 κ が大きくなる。(2)また、活性層の膜厚も大きくなるため、活性層への光閉じ込め係数が増加して回折格子領域の光強度は減少し、結合係数 κ は小さくなる。上記(1)と(2)の大小関係(結晶成長を行うMOVPE装置或いは成長条件に依存する)によって、発振波長(或いは選択成長マスク幅)と結合係数 κ との関係が変化する。この結合係数 κ は、DFBレーザの発振しきい値、発光効率、縦シングルモード歩留り、長距離伝送特性等に密接に関連したパラメータとなっている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の光半導体装置および製造方法によると、結合係数 κ がDFB発振波長毎に異なっているため、レーザ発振しきい値電流、発光効率に不均一性が生じる。この不均一性により、素子歩留りが低下する。また、DFB毎に結合係数 κ が異なるため、端面の残留反射に対する耐力が素子によって異なり、長距離伝送を行なった場合、波長によって伝送特性の歩留まりがばらつくという問題がある。

【0009】本発明の目的は、複数の半導体レーザを1枚の半導体基板上に一括形成したときの結合係数のばらつきを抑え、レーザ発振しきい値、発光効率、および長距離伝送特性の均一化を図り、歩留りの向上を図った光半導体装置およびその製造方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の目的を達成するため、第1の特徴として、周期的な屈折率変化又は利得変化に基づいて縦単一モードのレーザ光を発振する複数の半導体レーザが、相互に異なる発振波長によって1枚の基板上に一括形成された光半導体装置において、前記複数の半導体レーザのそれぞれの結合係数が、その発振波長によらず同一であることを特徴とする光半導体装置を提供する。

【0011】この構成によれば、従来、1枚の基板上に一括形成される半導体レーザのそれぞれの構成が同じとき、それぞれの結合係数が発振波長が毎に異なる値であったのに対し、互いに異なる発振波長であっても各半導体レーザの結合係数は一定値にされている。したがって、レーザ発振しきい値電流や発光効率の不均一性は無くなり、素子歩留りの低下を防止できる。また、長距離伝送を行なっても、伝送特性の歩留まりが波長によってばらつくことがなくなる。

【0012】本発明は、上記の目的を達成するため、第2の特徴として、周期的な屈折率変化又は利得変化に基づいて縦単一モードのレーザ光を発振する複数の半導体レーザが、相互に異なる発振波長によって1枚の基板上に一括形成された光半導体装置において、前記複数の半導体レーザは、その発振波長に応じた高さを有した回折格子を備えたことを特徴とする光半導体装置を提供する。

【0013】この構成によれば、発振波長が異なっても、それぞれの半導体レーザの結合格子が同一値になるように回折格子の高さが形成される。この結果、発振波長が異なっても、結合格子にばらつきが生じないため、レーザ発振しきい値電流や発光効率の不均一性は無くなり、素子歩留りの低下を防止できる。また、長距離伝送を行なっても、伝送特性の歩留まりが波長によってばらつくことがなくなる。

【0014】本発明は、上記の目的を達成するため、第3の特徴として、異なる波長の縦単一モードのレーザ光を発振する複数の半導体レーザを1枚の基板上に一括形成する光半導体装置の製造方法において、前記基板上にレジストを塗布し、前記複数の半導体レーザのそれぞれの発振波長に対応したピッチ、および前記それぞれの発振波長によらず結合係数が一定になるように高さを設定する複数の回折格子のパターンを前記レジスト上に露光し、単位時間当たりのエッチング量が一定となるようにエッチングし、前記回折格子の配置に合わせてストライプマスクをパターンニングし、 SiO_2 マスクを用いて選択MOVPE成長（有機金属気相成長）により前記回折格子上にレーザ活性層を形成し、前記レーザ活性層の表面および前記基板の裏面に電極を形成し、前記レーザ活性層の一方の端面に高反射膜を形成することを特徴とする光半導体装置の製造方法を提供する。

【0015】この方法によれば、回折格子を形成する際、基板上に複数の回折格子を持つ半導体レーザを形成する際、結合係数が一定になるように各回折格子の高さが設定され、これに対してレーザ活性層が形成される。回折格子の高さを制御したことにより、1枚の基板上の各回折格子の結合係数が一定値にされるため、レーザ発振しきい値電流や発光効率の不均一性は無くなり、素子歩留りの低下を防止できる。また、長距離伝送を行なっても、伝送特性の歩留まりが波長によってばらつくのを防止することができる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基いて説明する。本発明者は、光半導体装置において、その諸特性がマスク幅や結合係数 κ の変化に応じてどのような挙動を示すかについて検討した。その結果、マスク幅や結合係数 κ とDFB発振波長との関係について、本発明に寄与する重要な事実を見いだすことができた。そして、発振波長がDFB毎に異なっても、結合係数 κ が変化しないようにする方法を見いだした。また、光半導体装置の特性を向上させるための幾つかの解決策も見いだすことができた。これらについて、実施の形態の説明の前に図面を示して以下に説明する。

【0017】図1は、選択MOVPE成長したInGaAsPの断面を示す。〔011〕方向に所定の間隔（ $1.5\mu\text{m}$ ）で形成された一対の SiO_2 ストライプマスク2を用いて、MOVPE法により、InGaAs

P層3を（100）InP基板1上に選択成長すると、側面が（111）B面で上面が（100）面に囲まれた台形型の結晶が成長する。さらに、 SiO_2 ストライプマスク2のマスク幅 W_m を増加させると、 SiO_2 ストライプマスク2上からの原料流れ込みによって成長速度（膜厚）が増加するとともに、In組成に増加が生じることが知られている。これらの現象を利用すると、異なるバンドギャップ波長を有する層構造を同一基板面内に作り込むことが可能となる。

10 【0018】図2は、マスク幅とバンドギャップ波長の関係を示す。ここには、 $1.55\mu\text{m}$ 帯のDFBレーザの回折格子上ガイド層として多く用いられるInGaAsP層（バンドギャップ波長 $1.13\mu\text{m}$ （Q1.13）と $1.20\mu\text{m}$ （Q1.20）をマスク幅 $15\mu\text{m}$ でInP基板に格子整合するよう選択MOVPE成長した場合のフォトルミネッセンス波長とマスク幅の関係が示されている。図2から明らかなように、バンドギャップ波長 $1.13\mu\text{m}$ の場合、マスク幅を $50\mu\text{m}$ まで増加させると、フォトルミネッセンス波長が $1.20\mu\text{m}$ にまで長くなっていることがわかる。これは、マスク幅の増加によりIn組成が増加したためである。

20 【0019】図3は、InGaAsP/InGaAsP多重量子井戸（MQW）構造を選択MOVPE成長した場合のフォトルミネッセンス波長とマスク幅の関係の一例を示す。図3からは、マスク幅を $15\mu\text{m}$ から $50\mu\text{m}$ に増加させることにより、 $1.52\sim 1.62\mu\text{m}$ の波長範囲をカバーできることがわかる。更に、マスク幅を $5\sim 21\mu\text{m}$ の間にとると、 $1.45\sim 1.55\mu\text{m}$ の波長範囲をカバーすることが可能である。これは、上記30 $1.52\sim 1.62\mu\text{m}$ を発振波長とするDFBレーザと組んで集積化する電界吸収型（EA）変調器の動作波長とすることができる。このときに問題になるのが、発振波長に対する結合係数 κ である。マスク幅を $15\sim 50\mu\text{m}$ の範囲で変化させ、マスク幅 $15\mu\text{m}$ でバンドギャップ波長 $1.13\mu\text{m}$ のInGaAsPを回折格子上のガイド層として、 $1.52\sim 1.62\mu\text{m}$ の範囲の異波長DFBレーザを作製した場合、図2に示すように、ガイド層のバンドギャップ波長も $1.13\mu\text{m}$ から $1.20\mu\text{m}$ に変化してしまうことになる。ガイド層のバンドギャップ波長の変化は、ガイド層の屈折率が変化する

40 ことを意味し、回折格子の存在により、屈折率の周期的変化がもたらす結合係数 κ も変化するようになる。

【0020】図4は、ガイド層の屈折率の周期的変化の変化量に対して比例関係にある回折格子の高さと結合係数 κ の関係を、ガイド層の組成をパラメータにして計算した結果を示す。ガイド層のバンドギャップ波長が、 $1.13\mu\text{m}$ （Q1.13） $\sim 1.20\mu\text{m}$ （Q1.20）に変化した場合、回折格子の高さが 30nm では、結合係数 κ が 31cm^{-1} から 45cm^{-1} に変化する。したがって、回折格子の高さを変えれば、結合係数 κ の値

をえることができる。本発明は、この点に着目してなされたもので、回折格子の高さを発振波長に応じて変化させ、単一縦モード半導体レーザの発振波長が異なっても、発振波長に対する周期的な屈折率変化或いは利得変化の結合係数 κ が変化しないようにしたものである。

【0021】図5は、基板上に複数のDFBレーザを一括形成したときの結合係数 κ とDFB発振波長との関係を測定した結果を示す。ここでは、複数のDFBレーザを発振波長 $1.52 \sim 1.62 \mu\text{m}$ で動作させた。測定は、回折格子高さを 30 nm と 35 nm の2種類について行った。その結果、結合係数 κ は、回折格子の高さが 30 nm では $30 \sim 40 \text{ cm}^{-1}$ に、また、回折格子の高さが 35 nm では $38 \sim 50 \text{ cm}^{-1}$ に変化していることがわかった。いずれも、図4に示した計算値よりも変化量が小さめになっているが、これは、図4の計算ではマスク幅の増加に伴う膜厚の増加によるレーザ活性層への光閉じ込め係数の増大を考慮していないためである。

【0022】結合係数 κ が変化することによる問題点は、レーザ発振しきい値や発光効率が変化してしまうことの他に、縦シングルモード発振歩留まりの劣化と、長距離伝送特性の劣化がある。特に、長距離伝送特性は、素子化後の最終評価項目であるため、非常に重要である。結合係数 κ が長距離伝送特性に与える要因は、変調動作時の反射戻り光によって誘発される波長変動（チャープ）である。対反射耐力を大きくして波長チャープを抑制するには、できるだけ大きな結合係数 κ にすることが望ましい。

【0023】図6は、変調 2.5 Gb/s で距離 600 km を伝送後のパワーペナルティー（ビットレート評価法によるデータを光ファイバに伝送する前の光パワーと伝送後の光パワーの差）と結合係数 κ の関係（黒丸印の点線特性）、および結合係数 κ と縦シングルモード発振歩留まりとの関係は（白丸印の実線特性）を示す。

【0024】この測定に用いた素子は、素子長 $400 \mu\text{m}$ の均一回折格子型DFBレーザと $200 \mu\text{m}$ 長のEA変調器をモノリシック集積したものである。 600 km を伝送後のパワーペナルティーは、結合係数 κ が大きくなるにつれて小さくなり、 $\kappa > 37 \text{ cm}^{-1}$ では 1 dB 以下のパワーペナルティーが実現されている。一方、結合係数 κ と縦シングルモード発振歩留まりとの関係は、結合係数 κ が大きくなると、空間的ホールバーニングの影響によって歩留まりが低下する。したがって、結合係数 κ を或る一定の範囲で制御することが非常に重要なことがわかる。

【0025】図7は、ガイド層のバンドギャップ波長に変化がない場合において、結合係数 κ を一定にするための回折格子の高さと発振波長の関係を示す。図4に示したように、結合係数 κ と回折格子の高さとに比例関係が存在する。そこで、図5の実験結果に基づいて、発振波長によらず、結合係数 $\kappa = 30 \text{ cm}^{-1}$ と結合係数 $\kappa = 3$

7.5 cm^{-1} を一定にするための回折格子の高さとDFB発振波長の関係を求めたものである。

【0026】図8は、結合係数 κ の値を一定にしたときの回折格子の高さと選択成長マスク幅の関係を示す。結合係数 κ を一定にするためには、回折格子の高さ又はマスク幅を設定すればよい。以上より明らかなように、回折格子の高さを発振波長に応じて最適な値に設定することにより、結合係数 κ を一定値に保てることがわかる。

【0027】次に、回折格子の高さを設定する方法について説明する。図9は電子ビーム露光法により形成した回折格子を示す。また、図10は図9のB-B'断面を示す。まず、図9の(a)に示すように、電子ビーム露光法によって基板101上に回折格子形成用レジスト102によりパターンニングを行った後、HBr:H₂O₂系化学エッチングを用いて開口部102aをエッチングした後、レジスト102を除去すると、図9の(b)および図10に示すように、回折格子100が形成される。エッチング後、基板上には順メサが形成され、台形状の凹凸が回折格子100として基板101に転写される。ここで、回折格子100の山から谷までの高さ（選択MOVPE成長前の回折格子高さ）を d_{GTG1} 、また、この回折格子100上へ選択MOVPE成長した後の山から谷までの高さ（選択MOVPE成長後の回折格子高さ）を d_{GTG2} と定義する。電子ビーム露光によってパターンニングを行うレジスト開口幅を W_E としたとき、このレジスト開口幅 W_E によって高さ d_{GTG1} を変えることができる。

【0028】図11は開口幅 W_E と高さ d_{GTG1} との関係を示す。開口幅 W_E が広いほど、回折格子100の山から谷までの高さ d_{GTG1} は減少する。これは、開口幅 W_E が広がるとエッチング面積が大きくなり、単位時間当たりのエッチング量が一定となるHBr:H₂O₂系でエッチングを行った場合、エッチングの深さが小さくなるためである。この現象を利用すると、レジスト開口幅 W_E によって回折格子100の高さを制御することが可能である。実際にデバイス化を図る場合、 d_{GTG1} ではなく、選択MOVPE成長後の回折格子高さ d_{GTG2} が重要になる。したがって、図11には、実験的に求めたレジスト開口幅 W_E と回折格子高さ d_{GTG2} との関係も示している。図11から明らかなように、 d_{GTG2} を $10 \sim 50 \text{ nm}$ の範囲で制御できることがわかる。

【0029】〔第1の実施の形態〕次に、本発明に係る光半導体装置の製造方法について、図面を参照して説明する。図12、図13、図14、図15、図16、図17、図18、図19、図20、図21、および図22は、本発明の第1の実施の形態を示す。第1の実施の形態は、DFBレーザ部と異波長EA変調器を集積化した構成例である。図12は本発明の光半導体装置の製造方法を示し、図13は複数の回折格子を基板上に形成した状態を示し（図中、OFは、オリエンテーションフラッ

トを示し(図16も同じ)、図14はレジスト開口幅 W_E とDFB発振波長の関係を示し、図15は描画ピッチとDFB発振波長の関係を示し、図16は SiO_2 ストライプマスクを回折格子に合わせてパターンニングした様子を示し、図17は図13の SiO_2 ストライプマスクと1つの素子の詳細を示し、図18は回折格子の形成領域のマスク幅 W_{LD} と回折格子の形成されていない領域のマスク幅 W_{MOD} のDFB発振波長に対する設計値を示し、図19はレーザ活性層と変調器吸収層を選択MOVPEで形成した状態を示し、図20は図16のA-A'断面を示し、図21は図16のC-C'断面を示し、図22はp型の電極(P電極)をパターンニングした様子を示す。

【0030】図12～図22を用いて本発明の第1の実施の形態の製造工程を説明する。まず、(100)n-InP基板101上へ電子線感光性のポジレジスト102を塗布した後、電子ビーム露光法により図9の(a)に示すようなパターンを描画する(ステップS11)。その後、レジスト102をマスクにして $\text{HBr}:\text{H}_2\text{O}_2$ 系エッチング液によりn-InP基板101をエッチングすることにより、図9の(b)のように開口部102aを有した回折格子100を形成する(ステップS12)。

【0031】ここで、n-InP基板101の〔011〕方向へ $800\mu\text{m}$ 長の回折格子形成領域と $400\mu\text{m}$ 長の非形成領域が繰り返されたパターンとし(図13)、〔01-1〕方向へは $300\mu\text{m}$ 間隔の繰り返しによるパターンとした。そして、図14に示すように、回折格子100の複数を一括形成する際の電子ビーム露光幅(=レジスト開口幅 W_E)は、 $8.5\sim 13.0\mu\text{m}$ ($\kappa=37.5\text{cm}^{-1}$)にして、回折格子100の高さを制御した。すなわち、 $\kappa=37.5\text{cm}^{-1}$ が得られるように、DFB発振波長に対応するレジスト開口幅 W_E を設定する。さらに、図15に示すように、描画ピッチ Λ は所望の発振波長に合わせ、回折格子100毎に $235.05\sim 250.85\text{nm}$ の間で設定する。

【0032】次に、図16に示すように、選択MOVPE成長用の一対の SiO_2 ストライプマスク103を回折格子100に合致するようにパターンニングする(ステップS13)。ここで、回折格子100が形成されている領域ではマスク幅を W_{LD} 、回折格子100が形成されていない領域では W_{MOD} となる様に設定した。パターンニングの詳細を図14に示す。即ち、マスク幅 W_{LD} の領域($400\mu\text{m}$ 長)がDFBレーザになる部分であり、マスク幅 W_{MOD} の領域($200\mu\text{m}$ 長)がEA変調器になる部分である。また、一対のストライプマスクの間隔は $1.5\mu\text{m}$ の固定にした。マスク幅 W_{LD} および W_{MOD} のDFB発振波長に対する設計値は図15に示す通りである。

【0033】なお、図14、図15、図18において

は、レジスト開口幅 W_E 、 Λ 、 W_{LD} 、および W_{MOD} をDFB発振波長に対して連続的に記述しているが、ここでは、DFB発振波長が $1.52\sim 1.62\mu\text{m}$ の範囲を 100GHz 間隔(概ね 0.8nm 間隔)の 125 波長の設計としているため、実際には、図14、図15、図18のグラフ中の値を 125 ステップに刻んだ値を採用している。

【0034】次に、図19に示すように、レーザ活性層(図19の奥側部分)と変調器の吸収層(図19の手前部分)を選択MOVPE成長させる(ステップS14)。ここでは、 $W_{LD}=15\mu\text{m}$ とし、図20に示すように、n-InGaAsPガイド層104(バンドギャップ波長 $1.13\mu\text{m}$ 、膜厚 150nm 、 $n=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)、InGaAsPによる歪MQW層(井戸層: $+0.60\%$ 歪、 10nm 厚)とInGaAsPによる障壁層(バンドギャップ波長 $1.20\mu\text{m}$ 、 9nm 厚の8周期)からなる層105、この層105を覆うp-InP層106(150nm 厚、 $p=5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)を形成した。図19に示すDFBレーザ領域には、選択MOVPE成長後に回折格子100が保存されている。この回折格子の高さ d_{GTG2} は、図11および図14により、 $1.52\sim 1.62\mu\text{m}$ の発振波長では $25\sim 36\text{nm}$ の範囲で変化している。つまり、 $\kappa=37.5\text{cm}^{-1}$ のとき、発振波長 $1.52\sim 1.62\mu\text{m}$ の開口幅 W_E は図14から $8.5\sim 13\mu\text{m}$ として求められる。この値を図11に当てはめると、 $d_{GTG2}=25\sim 36\text{nm}$ となる。このように、 d_{GTG2} を発振波長に合わせれば、発振波長によらず結合係数 $\kappa=37.5\text{cm}^{-1}$ の一定値にすることができる。

【0035】次に、図21(図19のC-C'断面形状を示す)の(a)の状態から、選択成長層の両脇の SiO_2 を一部除去し(図21(b))、ついで図21(c)に示すようにp-InPクラッド層107($1.5\mu\text{m}$ 厚、 $p=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)、 $p^+-\text{InGaAs}$ キャップ層108($0.25\mu\text{m}$ 厚、 $p=6\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)を選択MOVPE成長した後、DFBレーザ領域とEA変調器領域の間 $30\mu\text{m}$ の $p^+-\text{InGaAs}$ キャップ層108を除去して電気的分離を行い(ステップS15)、図22に示すように、 SiO_2 膜109を層間膜に用いてp型電極(p電極)110のパターンニングを行う(ステップS16)。さらにn-InP基板101が $120\mu\text{m}$ 厚になるまで裏面研磨を行い、n型電極(n電極)111を形成する(ステップS17)。最後に、図19に示す位置から、DFBレーザ部を $400\mu\text{m}$ の長さ、EA変調器部を $200\mu\text{m}$ の長さの合計 $600\mu\text{m}$ の長さの切り出しをする(ステップS18)。さらに、DFBレーザ側端面には反射率 95% の高反射膜、変調器側端面には反射率 0.1% 以下の無反射膜をコーティングした(ステップS19)。こうして得た光半導体装置について、以下のような特性の評価を行う

た。

【0036】次に、上記第1の実施の形態の評価結果について説明する。図23は、125素子（125チャンネル）のDFBレーザの発振波長の測定結果を示す。ここでは、上記のようにして異波長EA変調器とDFBレーザを集積化した光半導体装置の発振波長特性を示している。チャンネル1からチャンネル125にかけ、ほぼ、設計通りの0.8nm/チャンネルの傾きで長波長化されていることが認められ、1枚の基板上に1520~1620nm（1.52~1.62μm）範囲をカバーする異波長素子が実現されていることが確認できた。

【0037】図24は、異なるDFB発振波長と結合係数 κ の測定結果を示す。図24から明らかなように、結合係数 κ はDFB発振波長に依存せず、設計値の37.5cm⁻¹にほぼ保たれていることが確認された。このように、従来方法ではDFB発振波長に依存して結合係数 κ が変化していたのに対し、DFB発振波長に応じて回折格子の高さを変化させることにより結合係数 κ が変化しないようにすることができた。

【0038】図25は伝送歩留りおよび単一縦モード発振歩留まりとDFB発振波長の関係の測定結果を示す。図25に示すように、単一縦モード発振歩留まり（点線で示す特性）もDFB発振波長に依存せず、60%以上に維持されたままである。また、2.5Gb/sで600kmの伝送を行った後のパワーペナルティーが1dB以下という規格に従って求めた伝送歩留り（黒丸で示す特性）も、全てのDFB発振波長で95%以上と良好な結果が得られた。

【0039】〔第2の実施の形態〕次に、第2の実施の形態として、異波長EA変調器を有しない異波長DFBレーザのみを基板上に一括形成する製造方法について、図26、図27、図28、図29、および図30を参照して説明する。図26は回折格子を形成した状態を示し、図27は図26の状態においてストライプマスクによりパターニングした状態を示し、図28は1つの素子におけるマスクパターンの配置を示し、図29は図28のD-D'断面を示し、図30はp電極をパターニングした状態を示す。

【0040】本実施の形態は、第1の実施の形態と同様に、電子ビーム露光法とエッチングにより回折格子を形成する。このとき、図26に示すように、基板201の〔011〕方向の全領域に複数の回折格子200を形成し、〔011バー〕方向へは300μmのピッチで繰り返されたパターンを形成する。このとき、回折格子200形成時の電子ビーム露光幅（レジスト開口幅 W_E ）は、図14の結合係数 $\kappa=30\text{cm}^{-1}$ 狙いに示すように、 W_E 11.0~16.0μmの中の対応する値が選択される。これにより、DFB発振波長毎に結合係数 $\kappa=30\text{cm}^{-1}$ になる回折格子高さを設定することができる。また、描画ピッチ Λ は、各DFB発振波長に応じて

235.05~250.85nmの中から選択する（図15）。次に、図27のように、選択MOVPE成長用の一對のSiO₂ストライプマスク203を回折格子200上にパターニングする。ここで、 W_{LD} はマスク幅である。SiO₂ストライプマスク203を1つの素子について示せば、図25のようになる。また、一對のストライプマスクの間隔は1.5μmの固定にし、DFB発振波長に対する W_{LD} の設計値は、第1の実施の形態と同じにした。

10 【0041】なお、図14、図15、および図18では、DFB発振波長に対してレジスト開口幅 W_E 、描画ピッチ Λ 、マスク幅 W_{LD} が連続的に記述されているが、本実施の形態では、DFB発振波長が1.52~1.62μmの範囲を100GHz間隔（概ね0.8nm間隔）の125波長の設計としているため、実際には、図14、図15、図18のグラフ中の値を125ステップの不連続値に刻んだ値を採用している。

【0042】次に、図29を用いて図12のステップS13に相当する選択MOVPE工程について説明する。まず、図29の（b）に示すように、n-InGaAsPガイド層204（バンドギャップ波長1.13μm、膜厚150nm、 $n=1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ）、歪MQW層（InGaAsP井戸層：+0.60%歪、10nm厚）とInGaAsP障壁層（バンドギャップ波長1.20μm、9nm厚で5周期）からなる層205、p-InP層206（150nm厚、 $p=5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ ）を選択MOVPE成長させる（以上の値は、全て $W_{LD}=15\mu\text{m}$ での値）。この選択MOVPE成長後の保存されている回折格子の高さ d_{GTG2} は、図11と図14から、DFB発振波長によって20~30nmの範囲で変化している。これにより、DFB発振波長によらず結合係数 $\kappa=30\text{cm}^{-1}$ が得られる。

【0043】次に、図29（c）のように、選択成長層上にSiO₂マスク207をセルフアライン的に形成した後、図29（d）に示すように、p-InPブロック層208、n-InPブロック層209、およびp-InP層210を選択成長する。最後に、SiO₂マスク207を除去した後、p-InPクラッド層211とp⁺-InGaAsキャップ層212を選択MOVPE成長させる。なお、図29の（b）から図29の（e）の工程の詳細については、「IEEE Journal of Quantum Electron」Vol. 35、No. 3、pp368~367に記述されている。

【0044】ついで、図30に示すように、SiO₂膜212を層間膜に用いてp電極214のパターニングを行い、さらにn-InP基板210が100μmの厚みになるまで、裏面研磨を行ってn型電極215を形成する。その後、素子を400μm長に切り出し、DFBレーザ後端面には反射率95%の高反射膜、前端面には反射率0.1%以下の無反射膜をコーティングすることに

より、光半導体装置が完成する。

【0045】次に、第2の実施の形態による光半導体装置の評価結果について説明する。図31は、図26～図30に示す方法で製造された異波長一括形成によるDFBレーザにおけるDFB発振波長と結合係数 κ の測定結果を示す。図23に示したように、作製した125素子のDFB発振波長は、連続的に割り振られ、チャンネル1からチャンネル125にかけ、ほぼ、設計通りの0.8nm/チャンネルの傾きによる長波長化が確認され、1枚の基板201上に1520～1620nm(1.52～1.62 μ m)範囲をカバーする異波長素子が実現されていることを確認した。この結果、結合係数 κ 発振波長に依存せず、図31より明らかなように、設計値の $\kappa=30.0\text{cm}^{-1}$ にほぼ保たれていることを確認した。これにより、全ての発振波長の素子に対して、レーザ発振しきい値 $5.0\pm0.25\text{mA}$ 、発光効率 $0.35\pm0.05\text{W/A}$ 、最大光出力 $60\pm3\text{mW}$ と高い均一特性が得られた。

【0046】図32は単一縦モード発振歩留まりとDFB発振波長の関係の測定結果を示す。図32から明らかなように、縦シングルモード歩留まりは、DFB発振波長に依存せず、65%以上と良好な結果が得られた。

【0047】なお、上記の説明においては、DFBレーザについて説明してきたが、本発明は、結合係数と発振波長に相関を持つ半導体レーザに広く適用できる。例えば、DBR(distributed bragg reflector: 分布反射形)レーザ等に対しても本発明を適用することができる。また、周期的な屈折率変化を有する構造のもの、または、周期的な利得変化を有する構造のもの、例えば、利得結合型DFBレーザ等に対しても本発明の対象となる。また上記の説明では結合係数 κ が、発振波長が長くなるにつれ大きくなる場合の κ 均一化手法についてのみ述べたが、発振波長が長くなるにつれ κ が小さくなる場合についても同様な手法で κ を均一化できることは言うまでもない。さらに、実施例におけるDFBレーザは均一回折格子型のみであるが、回折格子に位相シフト領域を有するDFBレーザにも適用できる。

【0048】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明の光半導体装置およびその製造方法によれば、互いに異なる発振波長であっても各半導体レーザの結合係数を一定値にしたため、レーザ発振しきい値電流や発光効率の不均一性はなくなり、素子歩留り、縦シングルモード発振歩留まりを向上させることができる。また、高速・長距離伝送を行なっても、伝送特性の歩留まりが波長によってばらつくことがなくなる。

【図面の簡単な説明】

【図1】選択MOVPE成長したInGaAsPの断面を示す断面図である。

【図2】マスク幅とバンドギャップ波長の関係を示す特

性図である。

【図3】InGaAsP/InGaAsP多重量子井戸(MQW)構造を選択MOVPE成長した場合のフォトルミネセンス波長とマスク幅の関係の一例を示す特性図である。

【図4】ガイド層の屈折率の周期的変化の変化量に対して比例関係にある回折格子の高さと結合係数 κ の関係を、ガイド層の組成をパラメータとして計算した結果を示す特性図である。

10 【図5】基板上に複数のDFBレーザを一括形成したときの結合係数 κ とDFB発振波長との関係を測定した結果を示す特性図である。

【図6】変調2.5Gb/sで距離600kmを伝送後のパワーペナルティーと結合係数 κ の関係(点線特性)、および結合係数 κ と縦シングルモード発振歩留まりとの関係は(実線特性)を示す特性図である。

【図7】ガイド層のバンドギャップ波長に変化がない場合において、結合係数 κ を一定にするための回折格子の高さと発振波長の関係を示す特性図である。

20 【図8】結合係数 κ の値を一定にしたときの回折格子の高さと選択成長マスク幅の関係を示す特性図である。

【図9】電子ビーム露光法により形成した回折格子を示す斜視図である。

【図10】図9のB-B'断面を示す断面図である。

【図11】開口幅 W_E と高さ d_{GTG1} との関係を示す特性図である。

【図12】本発明の光半導体装置の製造方法を示すフローチャートである。

30 【図13】複数の回折格子を基板上に形成した状態を示す平面図である。

【図14】レジスト開口幅 W_E とDFB発振波長の関係を示す特性図である。

【図15】描画ピッチとDFB発振波長の関係を示す特性図である。

【図16】SiO₂ストライブマスクを回折格子に合わせてパターンニングした様子を示す平面図である。

【図17】図13のSiO₂ストライブマスクと1つの素子の詳細を示す部分拡大図である。

40 【図18】回折格子の形成領域のマスク幅 W_{LD} と回折格子の形成されていない領域のマスク幅 W_{MOD} のDFB発振波長に対する設計値を示す特性図である。

【図19】レーザ活性層と変調器吸収層を選択MOVPEで形成した状態を示す斜視図である。

【図20】図16のA-A'断面を示す断面図である。

【図21】図16のC-C'断面における製造工程を示す説明図である。

【図22】p型の電極(P電極)をパターンニングした様子を示す斜視図である。

50 【図23】125素子(125チャンネル)のDFBレーザの発振波長の測定結果を示す特性図である。

【図24】異なるDFB発振波長と結合係数 κ の測定結果を示す特性図である。

【図25】伝送歩留りおよび単一縦モード発振歩留まりとDFB発振波長の関係の測定結果を示す特性図である。

【図26】本発明の第2の実施の形態において回折格子を形成した状態を示す平面図である。

【図27】図26の状態においてストライプマスクによりパターニングした状態を示す平面図である。

【図28】1つの素子におけるマスクパターンの配置を示す部分拡大図である。

【図29】図28のD-D'断面を示す断面図である。

【図30】p電極をパターニングした状態を示す斜視図である。

【図31】本発明の第2の実施の形態におけるDFB発振波長と結合係数 κ の測定結果を示す特性図である。

【図32】本発明の第2の実施の形態における単一縦モード発振歩留まりとDFB発振波長の関係の測定結果を示す特性図である。

【図33】従来の光半導体装置の製造方法を示す説明図である。

【符号の説明】

100, 200 回折格子

101, 201 基板

102 回折格子形成用レジスト

102a 開口部

103, 203, 207 SiO₂ ストライプマスク

104, 204 n-InGaAsPガイド層

105, 205 歪MQW層+障壁層

106, 206, 210 p-InP層

109 SiO₂ 膜

110 p型電極

111 n型電極

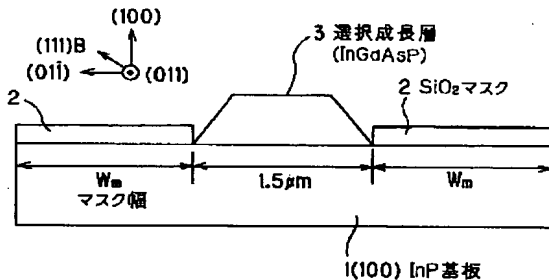
208 p-InPブロック層

209 n-InPブロック層

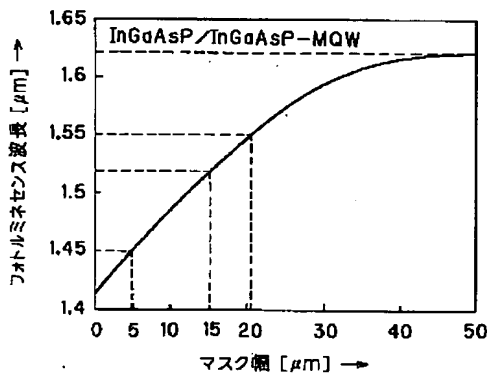
211 p-InPクラッド層

212 p⁺-InGaAsキャップ層

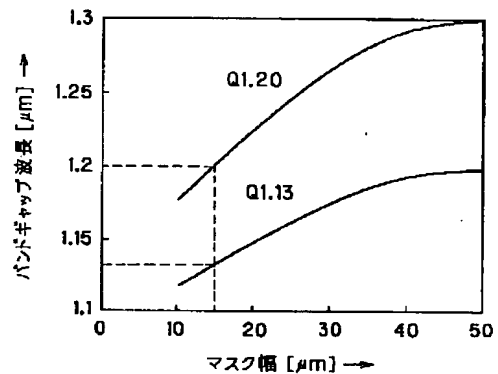
【図1】



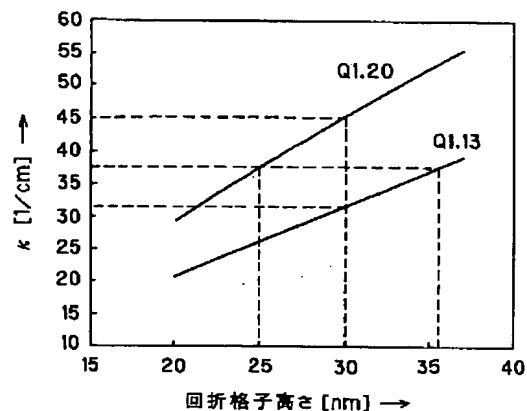
【図3】



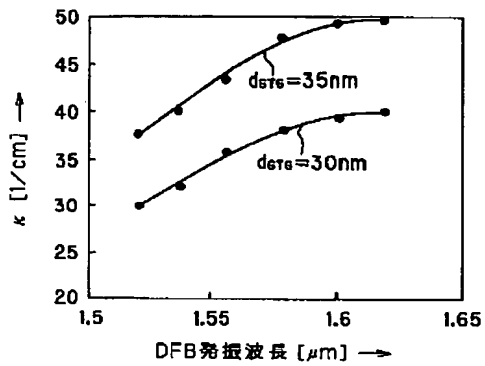
【図2】



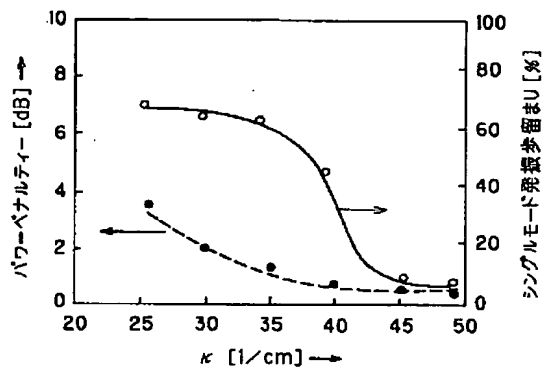
【図4】



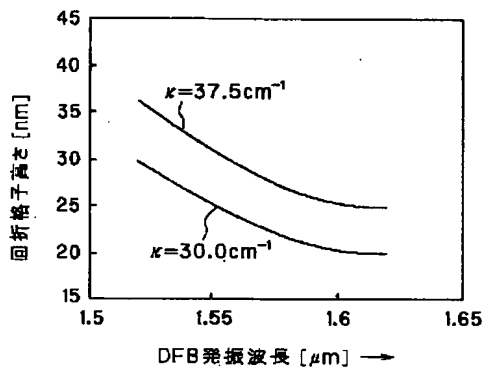
【図5】



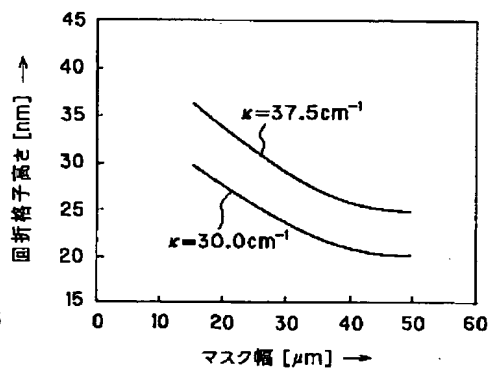
【図6】



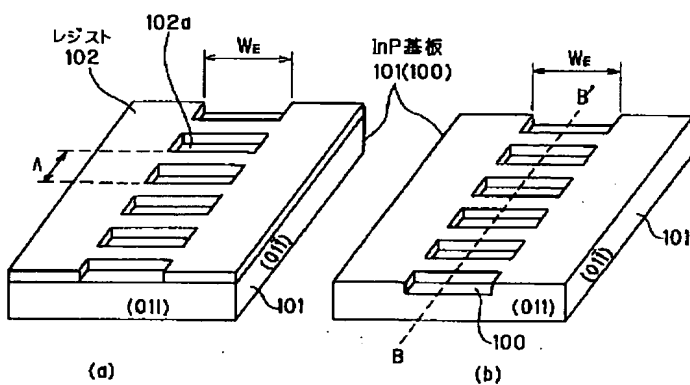
【図7】



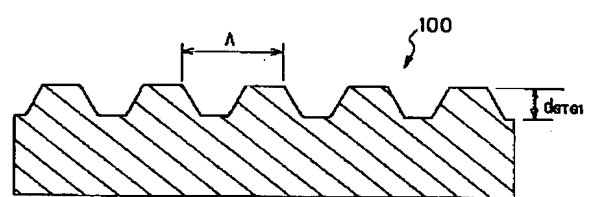
【図8】



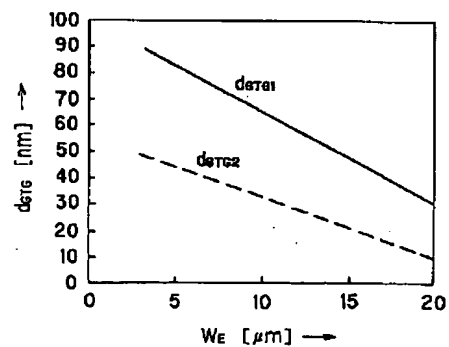
【図9】



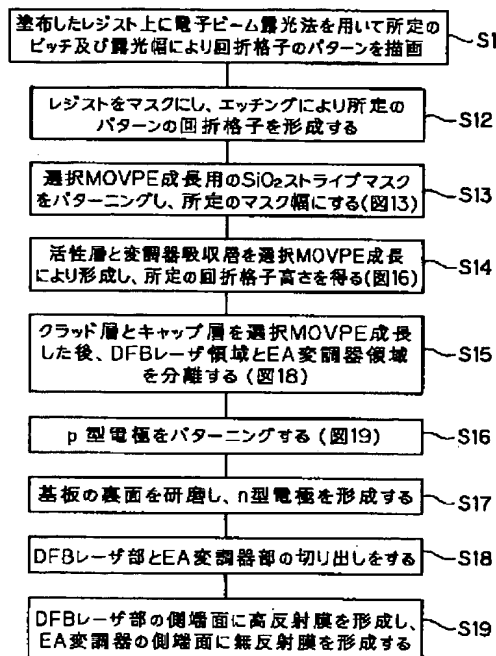
【図10】



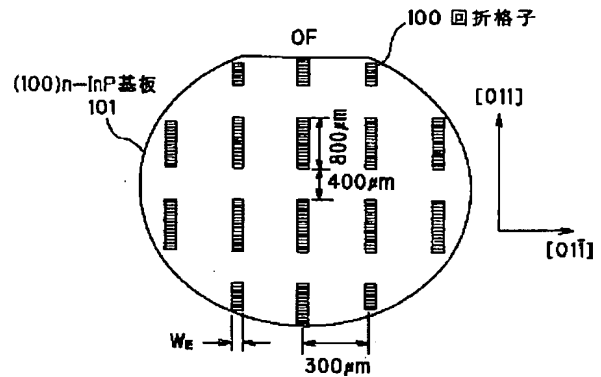
【図11】



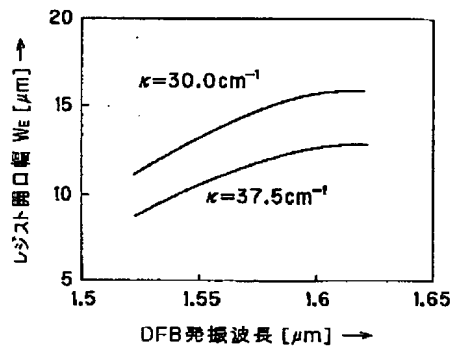
【図12】



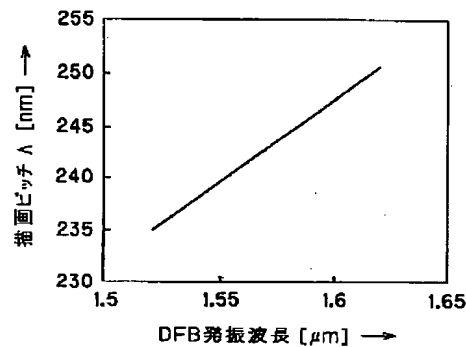
【図13】



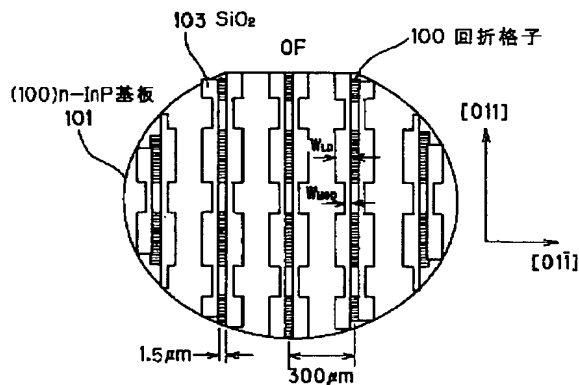
【図14】



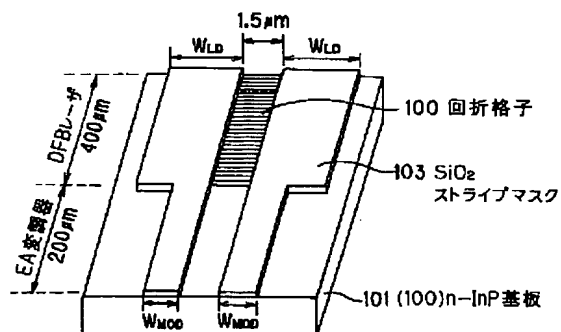
【図15】



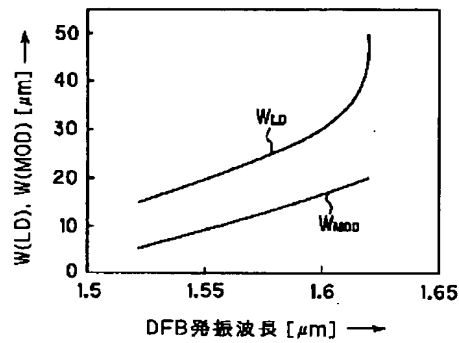
【図16】



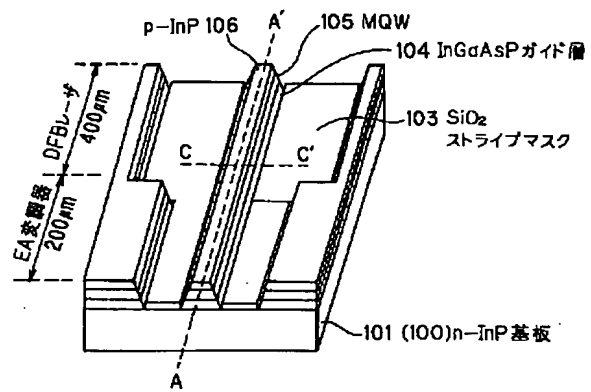
【図17】



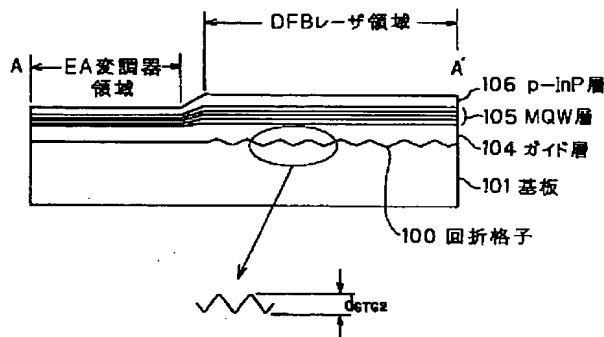
【図18】



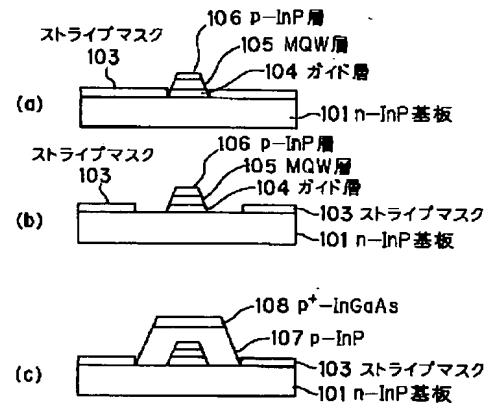
【図19】



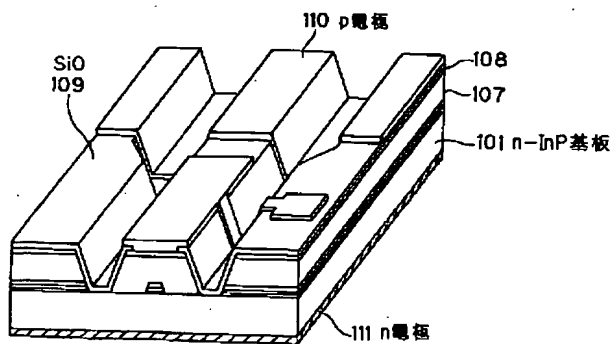
【図20】



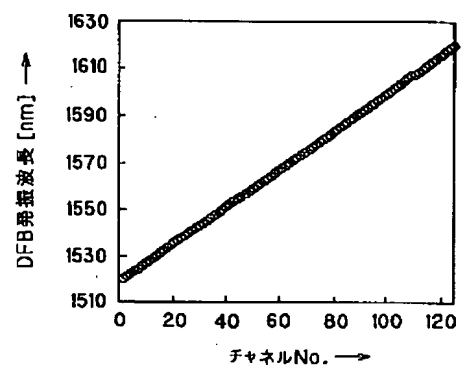
【図21】



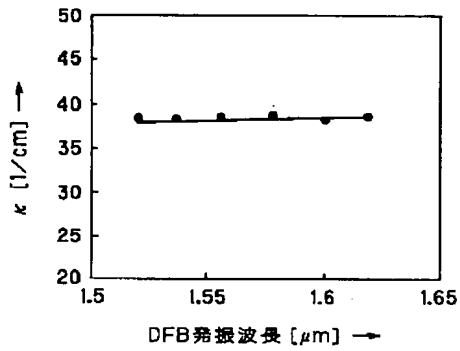
【図22】



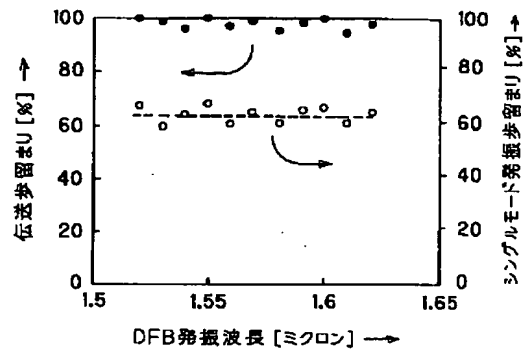
【図23】



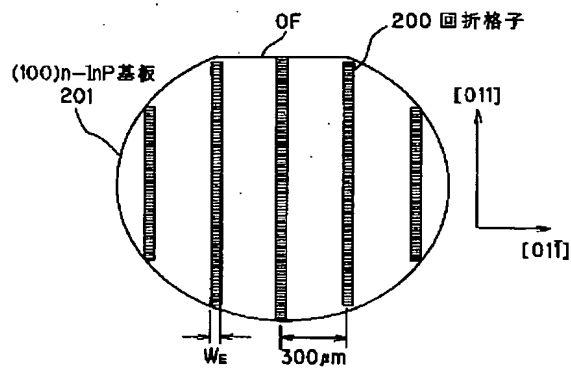
【図24】



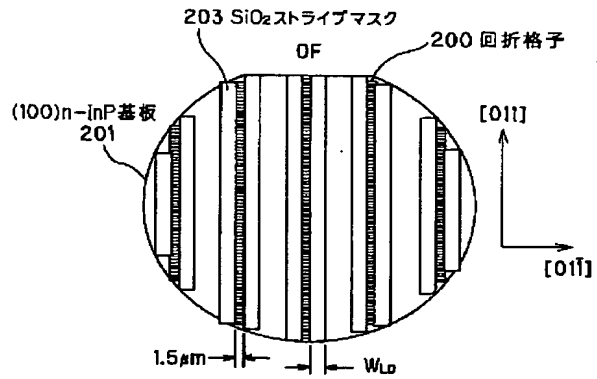
【図25】



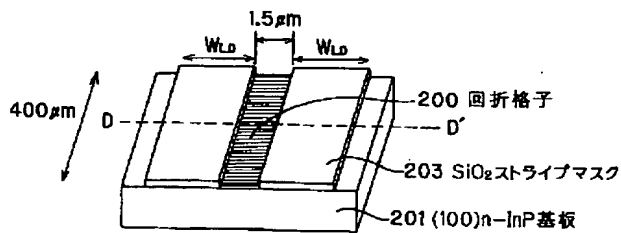
【図26】



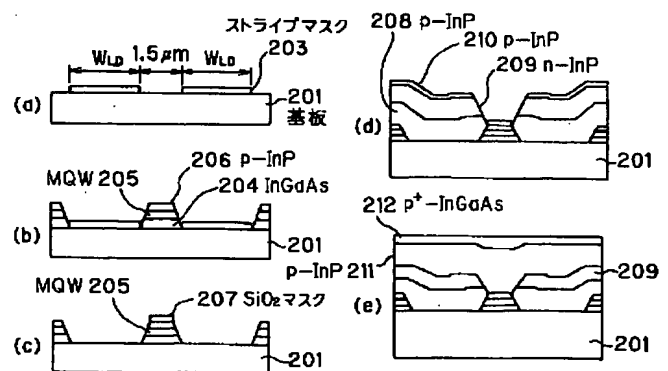
【図27】



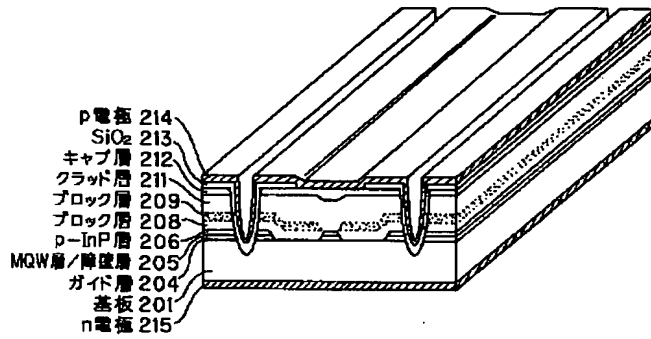
【図28】



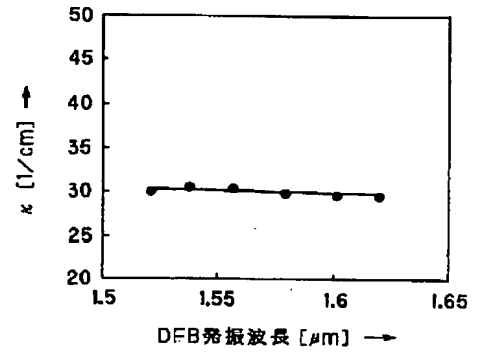
【図29】



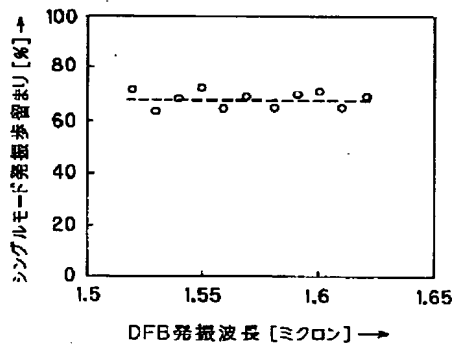
【図30】



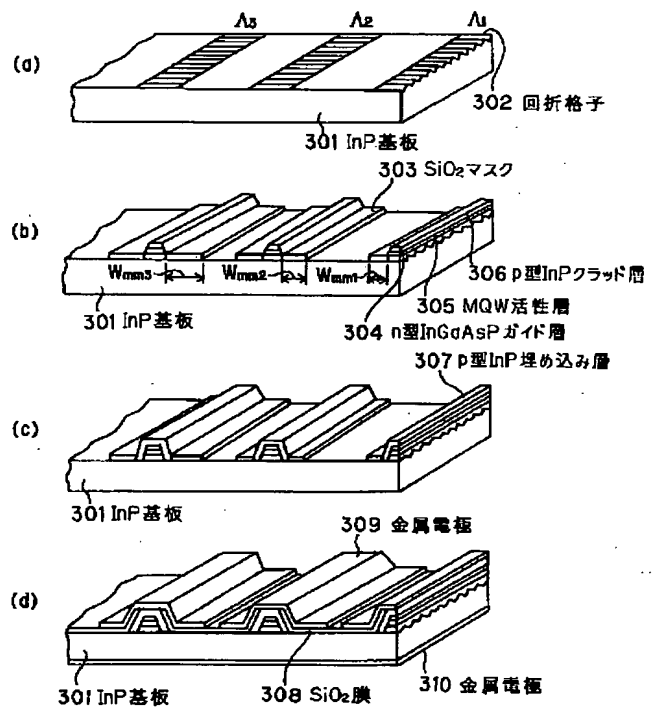
【図31】



【図32】



【図33】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.